

Validierung eines Ultraschall- sensormodells für die Verwendung in einer Simulationsplattform

IPG Automotive und Continental Autonomous Mobility Germany stellen ein gemeinsames Validierungsprojekt vor, dessen Ziel es war, das Ultraschallsensormodell der Simulationsumgebung CarMaker anhand eines realen Ultraschallsensors von Continental zu validieren. Dabei sollte bewiesen werden, dass eine realitätsgetreue Simulation entsprechender Sensoren unter Berücksichtigung sämtlicher relevanter Effekte der Signalkette möglich ist.



© IPG Automotive

■ Ultraschallsensoren sind im Automobilbau seit langem etabliert. Sie werden im Einstiegssegment in Form einfacher, rein ultraschallbasierter Einparkhilfen aber auch für automatisierte Parksysteme eingesetzt. Ihre Möglichkeiten gehen jedoch weit über die bekannten Anwendungen hinaus. Um den zunehmenden Automatisierungsgrad von Fahrzeugen der SAE-Level 4 und 5 zu ermöglichen, sind sie etwa für autonome Parkfunktionen von großer Relevanz. Dies gilt sowohl für den isolierten Einsatz von Ultraschallsensoren als auch

VERFASST VON



Lukas Schmall
ist Product Manager
Simulation Software bei
IPG Automotive in Karlsruhe.



Henning Kemper
ist Specialist Editor bei
IPG Automotive in Karlsruhe.



Stefan Hagenmüller
ist Product Owner & Expert
Ultrasonic Sensor Simulation
bei Continental Autonomous
Mobility Germany in Eschborn.



Dr. Christopher L. Brown
ist Head of Ultrasonic Data
Processing bei Continental
Autonomous Mobility Germany
in Eschborn.

in Kombination mit anderen Sensoren im Rahmen einer Sensordatenfusion. Eine Übertragung der Systeme auf größere Fahrzeugklassen wie beispielsweise Lkw erhöht darüber hinaus die Anzahl an Sensoren und damit die Komplexität des Gesamtsystems.

Daher setzt die Automobilindustrie inzwischen konsequent auf den Einsatz von Simulationslösungen, die sowohl die Umgebung als auch die Sensorik des Fahrzeugs durch hochpräzise Modelle nachbilden und so in vielen Fällen den realen Fahrversuch ersetzen können. Ein Vorteil der Simulation liegt beispiels-

weise in der Aufdeckung von Schwachstellen bei der Sensorpositionierung (Sensor-Packaging) in einer sehr frühen Designphase, wodurch eine Kostenreduktion erzielt werden kann. Darüber hinaus ist eine Identifizierung kritischer Testfälle durch die Generierung synthetischer Sensorrohdaten möglich, die in der Wirkkette nachgeschaltet analysiert werden können. Nicht zuletzt besteht die Option, realitätsnahe, reproduzierbare Echos zu erzeugen, die einer realistischen Signalverarbeitung dienen und somit auch für eine Parameteroptimierung interessant sind.

SENSORANWENDUNGEN PER SIMULATION ENTWICKELN

Für das hier beschriebene Validierungsprojekt kam die offene Integrations- und Testplattform CarMaker zum Einsatz, die mithilfe verschiedener architektonischer Bestandteile die Sensorsimulation eines Gesamtfahrzeugs des SAE-Levels 4+ ermöglicht. Sie verfügt über physikalische Sensormodelle für verschiedene Technologien wie Radar, Kamera, Ultraschall und Lidar. In diesem Artikel liegt der Fokus auf dem echtzeitfähigen Ultraschallsensormodell Ultrasonic RSI.

Dabei handelt es sich um ein Raytracing-basiertes Modell. Es ermöglicht den Zugriff auf die physikalischen Rohdaten des Sensors, woraus sich der Begriff Raw Signal Interface (RSI) ableitet. Das Modell basiert auf der Signalkette eines realen Ultraschallsensors und wird durch die Generierung einer Objektliste aus den vom Sensor ausgehenden Detektionen ergänzt. Deren Generierung ist dabei die Aufgabe der Anwenderinnen und Anwender. Die Signalkette, **BILD 1**, wird vom Ultrasonic RSI-Sensormodell nachgebildet. Sie beginnt mit der Ausleuchtung der Umgebung durch einen Transmitter, der Schallwellen in die Umgebung aussendet. Diese werden dabei in eine endliche Anzahl von Strahlen diskretisiert. Das ermöglicht es, zwischen Simulationsschwindigkeit und physikalischer Genauigkeit abzuwägen. Unter Berücksichtigung von Umwelteinflüssen, die physikalische Auswirkungen auf die Wellenausbreitung haben, werden mithilfe der Helmholtz-Gleichung elektrische Streufelder an Objektoberflächen anhand parametrierbarer Materialeigen-

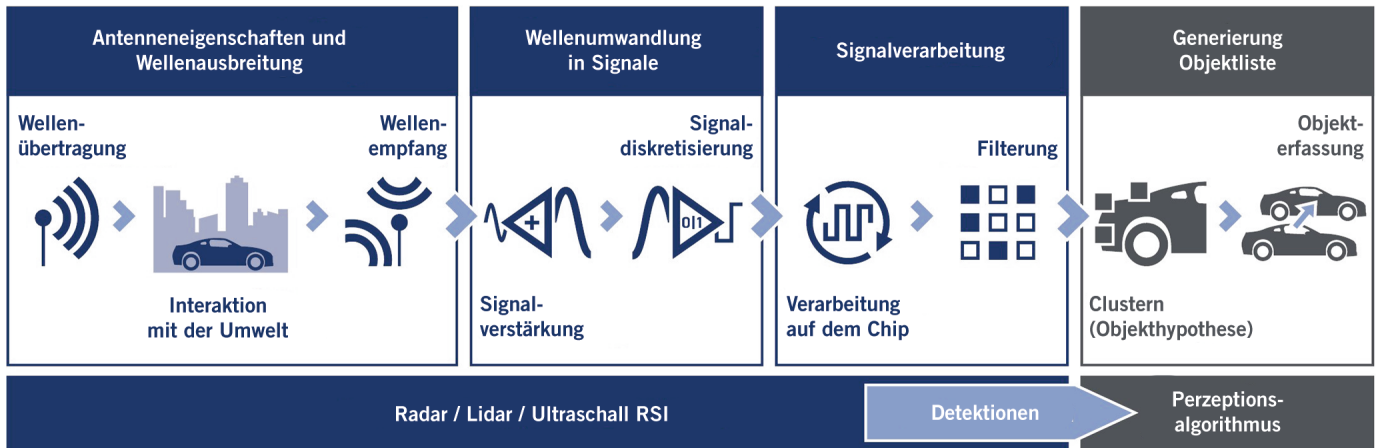


BILD 1 Signalkette der RSI-Sensormodelle (© IPG Automotive)

schaften berechnet und daraus Reflexionen bestimmt. Vom Receiver werden relevante Strahlen im Anschluss wieder empfangen. **BILD 2** veranschaulicht schematisch den Raytracing-Algorithmus zur Simulation einer Schallwelle.

Für alle Detektionen des Sensormodells werden der Schalldruckpegel sowie die Laufzeit des Strahls ausgegeben. Eine optionale Erfassung von Cross-Echos der Sensoren untereinander berücksichtigt auch das dichte Packaging sowie die damit einhergehenden Effekte. Schnittstellen zwischen den Blöcken der Signalkette ermöglichen das Ersetzen einzelner Schritte durch benutzerdefinierter Code. Ein Clustering auf verfügbaren GPUs bietet eine Leistungsoptimierung bei voller Ressourcennutzung. Die zugehörige Hardware unterstützt High-Performance-Raytracing sowie die Einspeisung von Sensordaten in das Steuergerät zur Realisierung einer Closed-Loop-Simulation. Neben den beschriebenen RSI-Sensoren, zu denen das Ultraschall-Sensormodell zählt, stehen in CarMaker eine Reihe weiterer Sensorkategorien zur Verfügung. Diese Sensoren können die Kette umgehen und Anwenderinnen und Anwendern auf Basis von Ground-Truth-Daten direkt Objektlisten zur Verfügung stellen.

VALIDIERUNG UND METHODIK

Das Ziel des Validierungsprojekts war es zum einen zu verdeutlichen, dass das Ultrasonic RSI bei geeigneter Parametrierung in der Lage ist, einen realen Sensor realitätsgetreu zu simulieren, sowie zum anderen ein validiertes Modell zu

erhalten, das alle relevanten Effekte der Signalkette abbildet. Beide Projektpartner konnten einen Nutzen aus dem durchgeführten Validierungsprojekt ziehen. Als Entwickler von Ultraschallsensorkomponenten einschließlich Prozessertechnologie und -algorithmik profitiert Continental von der offenen Integrations- und Testplattform CarMaker, die hochauflösende Umgebungen mittels detaillierter Ultraschallsensormodelle in synthetische Rohsignale transformieren kann. IPG Automotive wiederum kann die Möglich-

keiten eines Sensorherstellers nutzen, um die eigenen Sensormodelle zu verifizieren und die Übereinstimmung von synthetischen und realen Daten zu validieren.

Erwartungsgemäß zeigte sich bei der Validierung, dass jede Modellierung systembedingte Grenzen hat. Eine fundierte Sensitivitätsanalyse war deshalb unerlässlich. Dabei wurde untersucht, welche Parameter den größten Einfluss auf den Sensor-Output haben, beispielsweise hinsichtlich Amplitude, Rauschen und

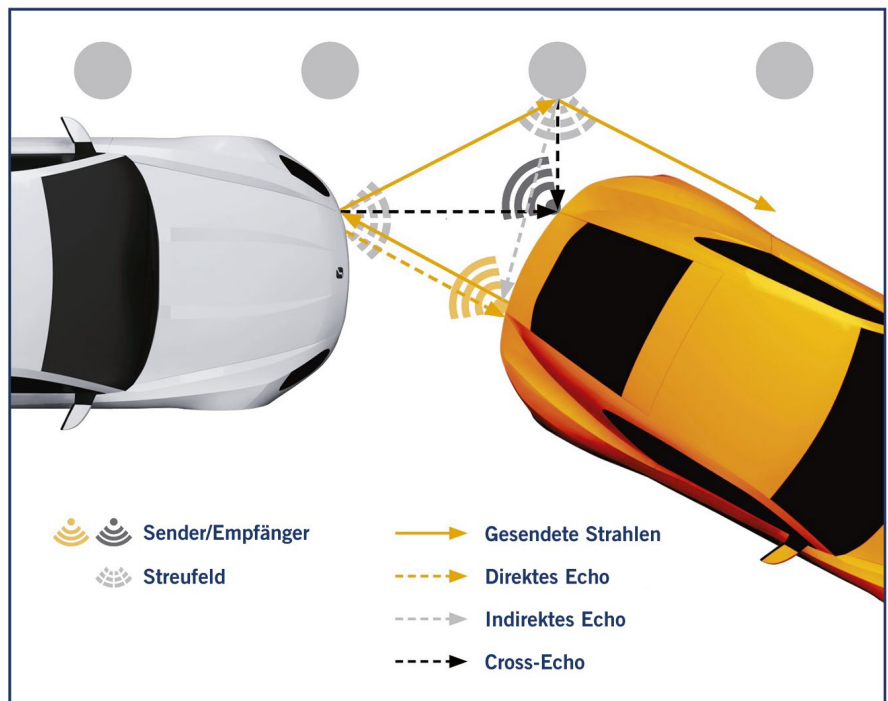


BILD 2 Schematische Abbildung des Raytracing-Algorithmus zur Simulation einer Schallwelle (© IPG Automotive)

Separierbarkeit als Parameter zur Klassifizierung der Trennbarkeit zweier Objekte bei ähnlichen bis identischen Abständen. Vor diesem Hintergrund galt es zu prüfen, mit welchen Szenarien, Testobjekten und Testaufbauten fundierte und reproduzierbare Aussagen zur Modellvalidierung getroffen werden können. Daher wurde in enger Abstimmung ein detaillierter Testkatalog entwickelt, um das gemeinsame Validierungsprojekt erfolgreich umzusetzen. Dieser gewährleistet eine hinreichende Testabdeckung, um typische Effekte von Ultraschallsensoren zu validieren. Basierend auf den Messergebnissen wurde die aktuelle Generation des Ultrasonic-RSI-Sensormodells weiterentwickelt. **BILD 3** zeigt zwei komplexe Versuchsaufbauten. Bei Versuch A wurden zwei Röhren mit gleichem Abstand vor dem Sensor platziert, um die Separierbarkeit zweier identischer Objekte zu untersuchen. Daraufhin wurde die Distanz einer der Röhren relativ zum Sensor jeweils einmal verringert und einmal vergrößert. Bei Versuch B wurde eine Platte in einem festen Abstand zum Sensor platziert und anschließend rotiert, um wellentypische Interferenzmuster zu erfassen und zu analysieren.

Ultraschallbasierte Systeme erzeugen neben sekundären Informationen typischerweise pro Messung mindestens zwei Rohdaten-Streams. Dabei handelt es sich in der Regel zum einen um die Distanz zu einem Objekt, die mithilfe der Time-of-Flight bestimmt wird – also der Zeit,

die vergeht, bis die vom Sensor emittierte Welle wieder empfangen wird. Zum anderen handelt es sich um die Amplitude, mit deren Hilfe beispielsweise die Eigenschaften eines Reflexionspunkts bestimmt werden können. In diesem Kontext wird eine Messung entweder als Burst oder Reception klassifiziert. Ein Burst bezeichnet das Aussenden einer Ultraschallwelle, während die Reception das Empfangen einer Reflexion beschreibt. Abhängig vom System können

diese Streams weitere Informationen wie etwa Dopplerraten oder zusätzliche Timing-Informationen enthalten. Typische Effekte sind dabei primäre und sekundäre, beziehungsweise direkte und indirekte Reflexionen eines Objekts, die beispielsweise durch Bodenreflexionen hervorgerufen werden. Neben der Bestimmung grundsätzlicher Sensoreigenschaften zur Übertragung auf das Sensormodell, wie beispielsweise Reichweiten, Sichtbereiche (Field-of-View, FoV)

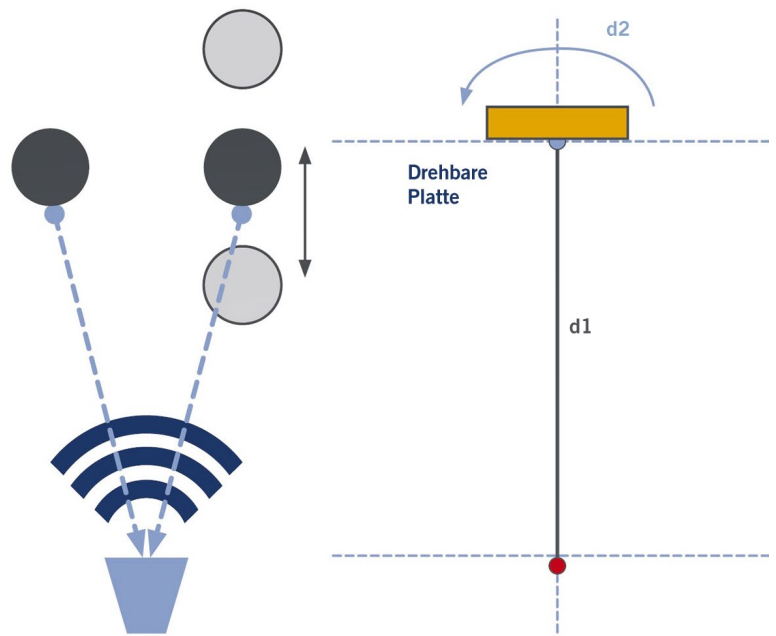
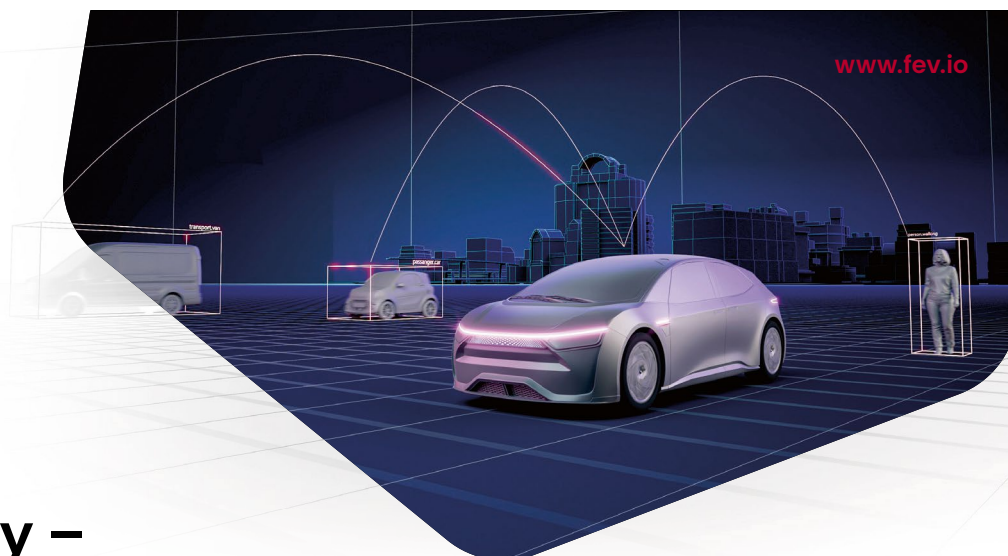


BILD 3 Versuchsaufbau A (links) und B (rechts) zur Validierung des Sensormodells Ultrasonic RSI (© Continental | IPG Automotive)

feel evolution

Wir forschen und entwickeln für eine Welt, in der sichere und nachhaltige Mobilitätssysteme unser Leben verbessern. Dafür unterstützen wir unsere visionären Kunden und Partner weltweit mit intelligenten Softwarelösungen. Denn diese sind der Treiber künftiger Mobilität. Gemeinsam helfen wir, Menschen zu verbinden und zu mobilisieren.



Digitalizing mobility – connecting people

FEV.io

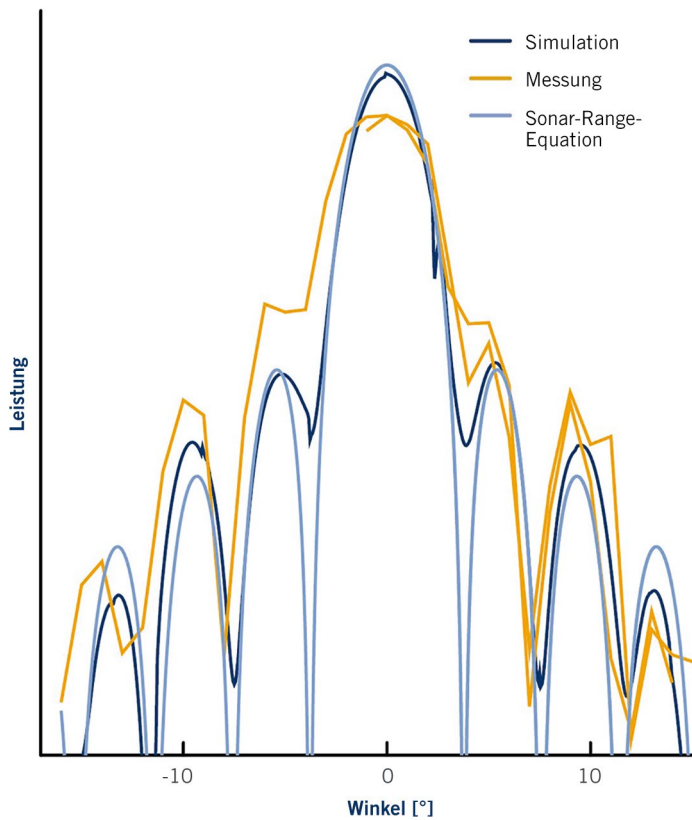


BILD 4 Ergebnisse des Versuchs ‚Drehbare Platte‘ und Vergleich mit den in der Simulation berechneten Daten (schematisch) (© Continental | IPG Automotive)

und Rauschverhalten, werden auch die Trennbarkeit zweier Objekte und die Genauigkeit der Messung untersucht. Durch intensives Testen der Sensoren können diese und weitere Charakteristiken wie etwa die Abstrahlcharakteristik in Azimuth und Elevation spezifiziert und in der virtuellen Umgebung repliziert werden.

Die Messungen im Rahmen des Projekts wurden vollständig an Prüfständen der Continental Autonomous Mobility Germany durchgeführt. Die verwendete Messtechnik sowie die Signalprozessungskette stellen dabei exakte Kopien der Systemkomponenten dar, die auch im realen Fahrzeug Verwendung finden.

ERGEBNISSE UND ANALYSE

BILD 4 veranschaulicht die Ergebnisse des Versuchs ‚Drehbare Platte‘ und zeigt einen Vergleich mit den in der Simulation berechneten Daten. Dieser Versuch sollte Aufschluss darüber geben, wie gut sich wellentypische Interferenzmuster in einer Simulation reproduzieren lassen (**BILD 3**, Versuch B). Die gemessene Leistung am Receiver lässt sich zwischen Simulation und Messung in guter Näherung vergleichen und stimmt zudem mit der physikalischen Theorie der Sonar-Range-Equation überein. Auch die Übereinstimmung der lokalen Minima und Maxima ist gut erkennbar. Insbesondere bei einer sehr kleinen Plattenkantenlänge von 5 cm gibt dies Aufschluss über Güte und Auflösung der Simulation. Durch diese Art der Untersuchung lassen sich Parameter des Raytracing-Sensors präzise bestimmen, um auch in komplexen Fahrscenarien realitätsnahe Ergebnisse erzielen zu können.

BILD 5 zeigt eine Trennbarkeitsmessung, bei der eine Röhre mit festem Abstand und eine Röhre mit variablem Abstand vermessen wurden (**BILD 3**, Versuch A). Diese Untersuchung kann als Kalibrierungsschritt interpretiert werden, um definieren zu können, welche konkrete Separierbarkeit im Sensormodell parametrisiert werden muss. Charakteristisch für eine solche Messung ist das Verschmieren und Verschmelzen zweier Objekte zu einem einzigen Objekt, falls die relative Distanz der beweglichen Röhre zum Sensor ähnlich der fixen Distanz der Partnerröhre

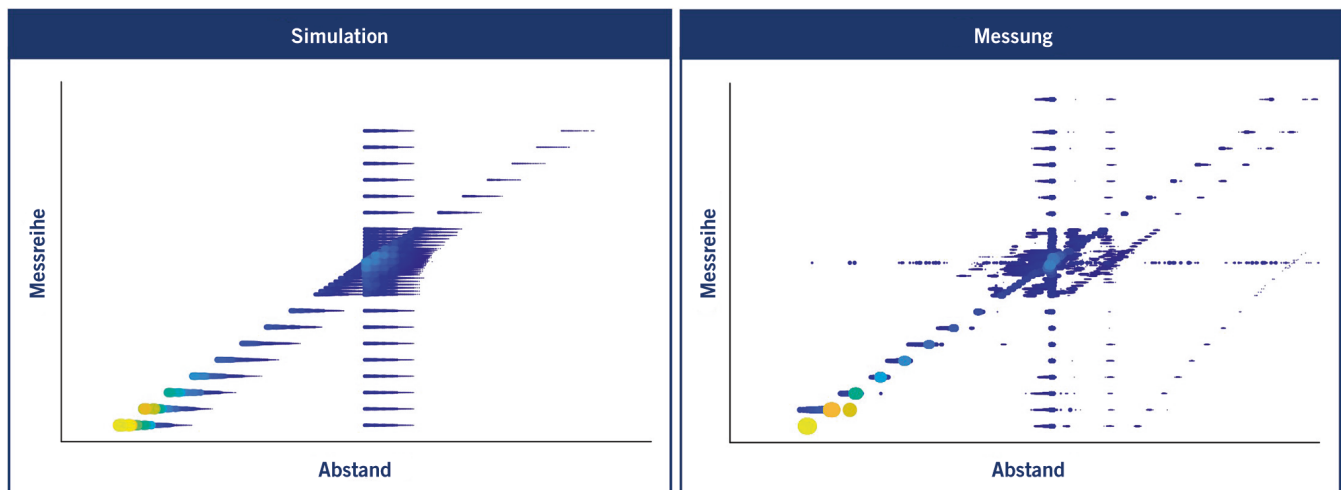


BILD 5 Ergebnisse der Trennbarkeitsmessung in der Simulation und in der realen Messung (schematisch) (© Continental | IPG Automotive)

zum Sensor ist. Es ist ersichtlich, dass sowohl die simulierte Amplitude als auch die Messpunktverteilung stets im gleichen Wertebereich liegen. Die Schlussfolgerung daraus ist, dass das Modell nahe beieinanderliegende Objekte genauso präzise erkennt wie der reale Sensor. Diese Betrachtung kann hinsichtlich der Parametrierung des Sensormodells, aber insbesondere der Kombination aus Anzahl der Strahlen, Echos, etc. hilfreich sein. Auf diese Weise wird es ermöglicht, die Sensoralgorithmen so zu gestalten, dass entsprechende Objekte unterschieden werden können.

Für Sensorhersteller ergibt sich der Vorteil, unterschiedlichste Einstellungen und Parametervarianten des Sensors gegeneinander sowie gegen ein idealisiertes Modell testen zu können. Darüber hinaus sind Tests komplexer Benutzerszenarien möglich, die in der Realität nur unter enormen Aufwand oder nicht reproduzierbar ausgeführt werden kön-

nen. Aus Entwicklersicht ist dabei unter anderem die Corner-Case-Suche hilfreich. Diese Grenzfälle beziehen sich auf wiederkehrende, ungünstige Situationen bei Einparkvorgängen, die dann hinsichtlich der auszuführenden Prozessierungsalgorithmik bewertet werden. Typischerweise liefert der Model-Output idealer Sensormodelle dabei nicht die notwendige Tiefe der Umgebungsauflösung und des Detaillierungsgrads für entsprechende Untersuchungen.

FAZIT

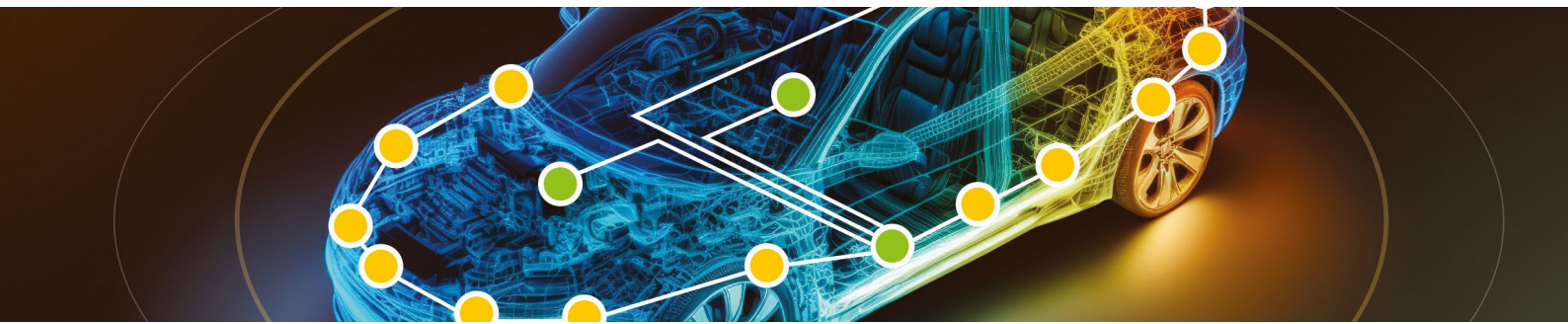
Das Ziel des gemeinsamen Projekts war die Validierung des Ultraschallsensormodells hinsichtlich aller relevanten Effekte eines realen Ultraschallsensors. Darüber hinaus sollte der Nachweis erbracht werden, dass ein realer Sensor in der Simulationsumgebung CarMaker realitätsgetreu abgebildet werden kann. Dazu wurde das Raytra-

cing-basierte Sensormodell Ultrasonic RSI verwendet, das den Zugriff auf die Sensorrohdaten ermöglicht. Um typische Effekte von Ultraschallsensoren zu validieren, wurden ein detaillierter Testkatalog entworfen und entsprechende Messungen durchgeführt. Am Ende der erfolgreichen Durchführung des Projekts stand ein validiertes und verifiziertes Ultraschallsensormodell mit hohem Reifegrad, das Continental für seine Entwicklungs- und Kundenaktivitäten nutzen kann. Damit sind nun Ultraschallsensormodelle in einem sehr hohen Detailgrad in der Simulationsumgebung für Entwicklung, Test und Anwendung verfügbar, die dazu beitragen, die Funktionalität von Fahrerassistenzsystemen frühzeitig zu verbessern.



READ THE ENGLISH E-MAGAZINE

Test now for 30 days free of charge:
www.ATZelectronics-worldwide.com



Automotive-qualifizierte Single-Pair-Ethernet-ICs Für eine nahtlose Ethernet-Architektur

Entwickler im Automotive-Bereich gehen zu einem zentralisierten Computernetzwerk über, in dem jeder Dienst und jede Information überall im Fahrzeug mithilfe von Low-Speed-Sensoren, Aktuatoren und anderen Edge-Einrichtungen abgerufen werden kann, die über Standard-Ethernet einfach mit der Cloud verbunden sind.

Die ersten Automotive-qualifizierten ICs für die physikalische Schicht (PHY und MAC-PHY) setzen den IEEE-10BASE-T1S-Ethernet-Standard um, der die Kosten durch einfache Verkabelung senkt. Neben diesen PHYs und MAC-PHYs unterstützen die 100BASE-T1-Ethernet-Switches auch Time Sensitive Networking (TSN) für Zeitstempel-Funktionen, die neben anderen TSN-Funktionen die Zeitsynchronisation unterstützen. All diese Bausteine reduzieren die Entwicklungszeit und das Risiko, indem sie bekannte Ethernet-Netzwerke für die Fahrzeugarchitektur sowie auch für industrielle Einrichtungen nutzen.



microchip.com/SPE



Der Name Microchip und das Microchip-Logo sind eingetragene Warenzeichen von Microchip Technology Incorporated in den USA und in anderen Ländern. Alle anderen Marken sind im Besitz der jeweiligen Eigentümer. © 2024 Microchip Technology Inc. Alle Rechte vorbehalten. MEC2557A-GER-02-24